Opusc. PA-I-1111-

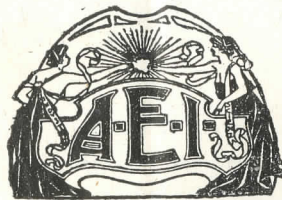
ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA
(Estratto dagli Atti)
Vol. XVII. Fasc. 14.°
31 Luglio 1913

TEORIE MODERNE DELL'ELETTRICITÀ

Conferenze dal Prof. ANTONIO GARBASSO

tenute nella Sezione di Milano dell'A. E. I.

48119/1111
BIBLIOTECA DELLE FACOLTA' DI LETTERE E FILOSOFIA TORINO
83267

PROPRIETÀ LETTERARIA

MILANO
Stabilimenti Grafici STUCCHI, CERETTI & C.
16, Via S. Damiano - Via Vittadini, 5
1913.

CONFERENZE

promosse dalla Presidenza Sezione di Milano A. E. I. su:

TEORIE MODERNE DELL'ELETTRICITÀ

tenute dal Prof. ANTONIO GARBASSO

I. CONFERENZA

SORGENTI DI ELETTRICITÀ

1). Galileo si era occupato incidentalmente di magnetismo, quando cercò di accrescere con l'artifizio delle armature la virtù della pietra calamita; ma non fece mai ricerche su l'elettrologia. La fisica della materia ponderale e lo studio dei fenomeni termici attiravano tutta l'attenzione del fondatore della dinamica, come bastarono all'attività dei suoi discepoli fino alla fine del secolo decimosettimo.

Nei *Saggi* degli Accademici del Cimento forse due o tre pagine sono dedicate alle esperienze di elettricità; si trova bensì, in queste poche pagine, una osservazione che conteneva in germe tutte le scoperte recenti e la teoria moderna della materia.

« L'ambra di tutte le materie che le presentano la sola fiamma non tira ».
« La fiamma non solo non si lascia tirar per sè, ma se l'ambra dopo stro-
« finata le rigira punto d'attorno spegne la virtù sua, onde vi bisogna nuovo
« strofinamento per fargliela tirare. E se dopo ch'ella ha tirato un minuzzolo
« si torna ad accostare alla medesima fiamma, questa subito glielo fa la-
« sciare ».

Noi diremmo adesso che *la fiamma scarica i corpi elettrizzati.*

L'esperienza si ripete facilmente con un piccolo elettroscopio a foglie

d'alluminio (fig. 1), armato con un conduttore munito di dischetto metallico: se gli si dà una carica (dell'uno o dell'altro segno) e gli si accosta una candela accesa subito le foglie ricadono.

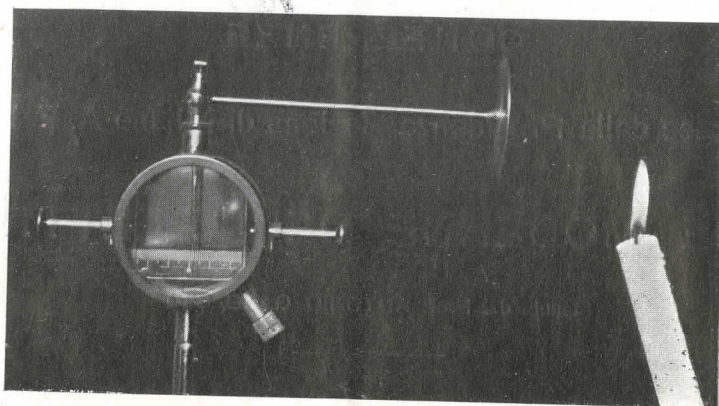



Fig. 1.

2). L'osservazione degli Accademici del Cimento rimase ignota e isolata per quasi un secolo, finchè, alla fine del settecento, Abramo Bennet e Alessandro Volta posero in luce un fenomeno che sembra ad un esame superficiale in contraddizione con quel primo.

Al solito elettroscopio si collega (fig. 2) un filo metallico, che termina, isolato, a pochi millimetri sopra il lucignolo di una candela.

Se all'estremità del filo, mentre la candela è spenta, si accosta un bastone elettrizzato (di ebanite o di vetro) le foglie naturalmente si aprono, ma tornano a ricadere quando l'induttore si allontana.

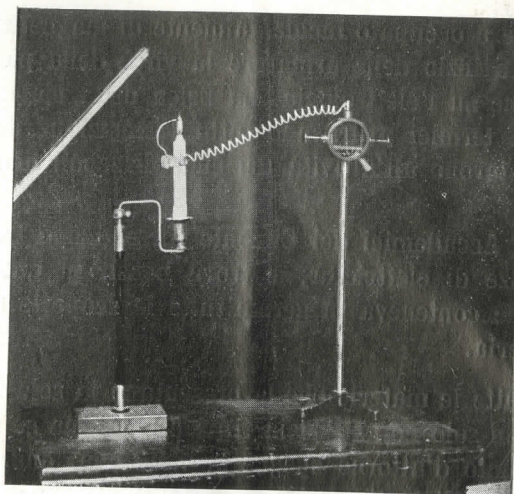



Fig. 2.

Noi ripetiamo però l'esperienza dopo di avere acceso la candela, e spegniamo la fiamma mentre dura l'azione induttiva: l'istrumento si mostra adesso elettrizzato e conserva la carica.

Come concludeva il Volta « la fiamma è raccoglitrice del pari che dissipatrice dell'elettricità ».

3). Il meccanismo intimo di questo fenomeno, come dell'altro scoperto dagli Accademici del Cimento, non destò per molti anni il minimo interesse; la cosa appariva in realtà semplice e chiara.

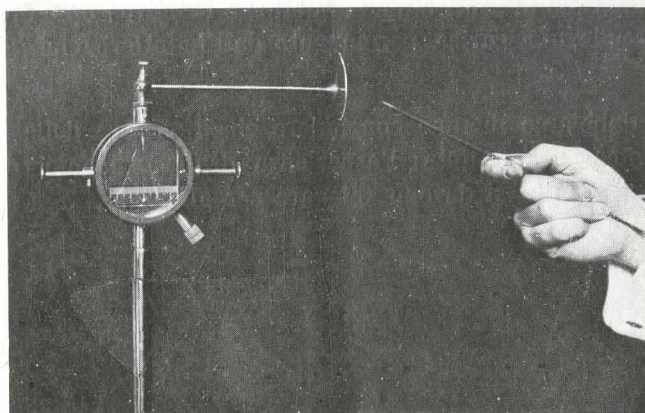



Fig. 3.

Semplice e chiarissima era ancora venticinque anni or sono, quando io seguivo i corsi del liceo: la fiamma agiva a quel modo perchè la sua forma è, almeno grossolanamente, conica.

Sotto una forma nuova si verificava così il *potere delle punte*.

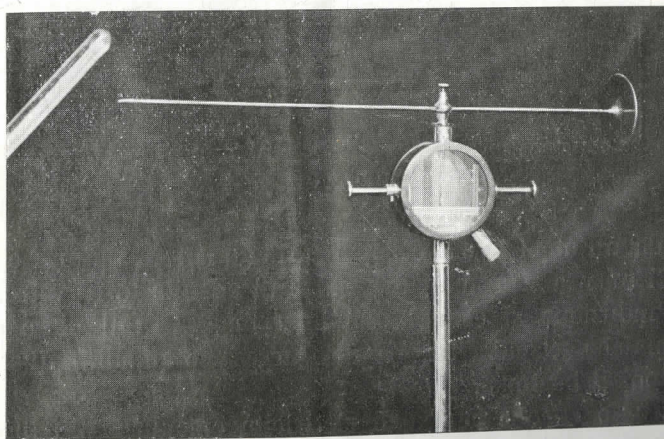



Fig. 4.

Le punte scaricano infatti i corpi elettrizzati, e raccolgono anche una carica, quando siano opportunamente impiegate, come è il caso dei pettini nella macchina di Ramsden.

Ma, con tutto il rispetto dovuto al mio professore di fisica, che era del resto un ottimo insegnante, una spiegazione di questo genere dimostra una cosa sola: come poco gli uomini siano curiosi.

Perchè è facile persuadersi che il potere delle punte non si esercita affatto su potenziali inferiori a quattro o cinquecento volts; mentre il potenziale massimo di carica dei nostri elettroscopii è sempre dell'ordine di cento o centoventi unità.

Quando si accosti al dischetto dell'istrumento (fig. 3) un'asticella metallica finissima, assai meglio appuntita che non sia l'estremità superiore della fiamma, le foglie non mostrano di sentire alcun effetto; e l'elettroscopio munito di punta (fig. 4) non prende una carica permanente dall'induttore che gli venga avvicinato.

4). Noi dobbiamo dunque concludere che il potere delle fiamme è ben distinto dal potere delle punte; l'esperienza degli Academici del Cimento e quella di Bennet e Volta si devono spiegare per altra via.

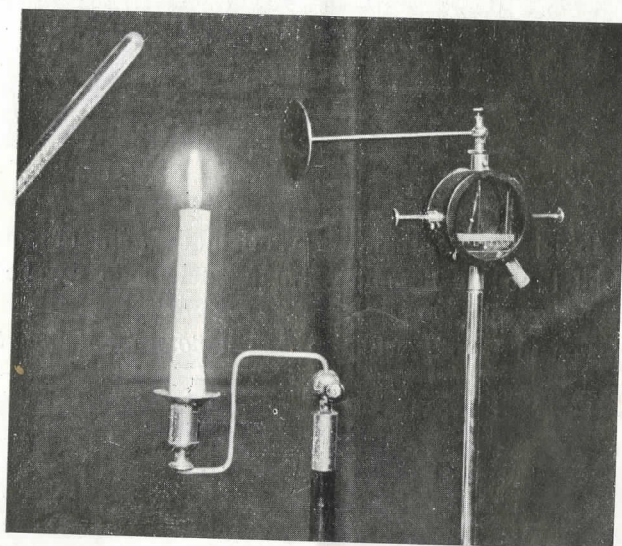



Fig. 5.

Si riprenda all'uopo l'elettroscopio, armato col conduttore e il dischetto, e gli si accosti ancora una volta il bastone di ebanite (o di vetro).

Mentre l'induzione si esercita, si interponga, fra il disco e il bastone (fig. 5), per qualche secondo, una candela accesa, e quindi si allontani la candela prima e poi il bastone.

L'elettroscopio rimane carico di elettricità omonima all'inducente. Il bastone invece è ricondotto allo stato naturale.

Quest'esperienza, che appartiene ad un giovane fisico italiano, il professor Maccarrone, si interpreta nel modo più semplice ammettendo che dentro la fiamma esistano in gran copia delle particelle elettrizzate dei due segni.

Se, per fissare le idee, è un bastone di ebanite che serve all'esperienza, le particelle positive della fiamma vengono attirate da esso e le negative respinte; queste elettrizzano il dischetto e quelle scaricano l'induttore.

5). L'esperienza del Maccarrone si può mettere sotto un'altra forma, ugualmente istruttiva. L'elettroscopio viene armato adesso (fig. 6) con un lungo conduttore orizzontale, che porta due dischetti agli estremi; ad uno di questi si avvicina il bastone di ebanite (o di vetro) e all'altro la fiamma. Le foglie, che s'erano scostate per l'azione induttiva, ricadono lentamente; allora si spegne la candela e poco dopo si allontana il bastone.

Immediatamente le foglie si riaprono e l'elettroscopio appare carico di elettricità eteronima all'inducente; il bastone è sempre elettrizzato.

È avvenuto adesso che le particelle di nome contrario alla carica del bastone fossero attirate sul dischetto, che sta di fronte alla fiamma.

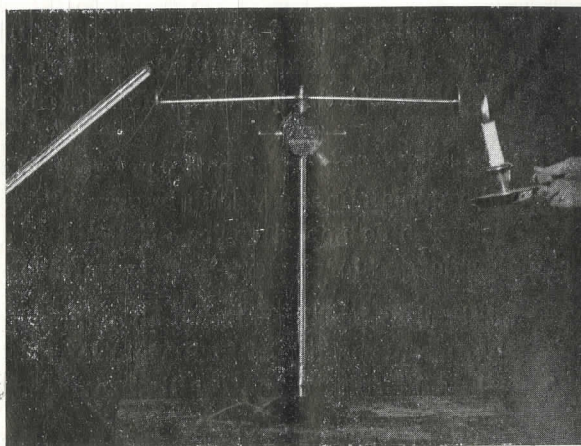



Fig. 6.

6). Se la fiamma, come risulta da queste ultime esperienze, è un sistema di particelle elettrizzate, i fatti notati dagli Academici del Cimento e da Bennet e Volta risultano immediatamente chiari nel loro meccanismo più intimo.

Perchè, in primo luogo, è manifesto che, quando si avvicini la candela accesa ad un conduttore elettrizzato, di elettricità, poniamo, positiva, le particelle negative saranno attratte finchè la carica preesistente risulti annullata.

Che se più tardi, continuando la fiamma a bruciare, non si manifesta in nessun caso una nuova elettrizzazione, non si dovrà concludere che le particelle non vengano ad urtare il conduttore, ma piuttosto che nel sistema le cariche dei due segni si pareggiano.

Quanto all'azione raccoglitrice della fiamma, la si spiega anch'essa osservando che le particelle omonime all'inducente, respinte da esso, seguiranno la via segnata dal filo conduttore, per giungere da ultimo a caricare l'elettroscopio.

7). Ma risolto appena il problema che c'eravamo proposto, se ne presenta subito un altro.

Ci possiamo domandare infatti: *perchè* la fiamma contenga, come sembra dimostrato, delle particelle dei due segni.

La fiamma è luminosa, è calda, la fiamma è sede di fenomeni chimici: Quale sarà fra tutti il carattere che determina quella sua condizione particolare?

Il campo della possibilità è assai vasto, ed è anche più vasto come vedremo il campo della realtà. Si può fare in proposito una lunga serie di esperienze; ma prima conviene premettere un'avvertenza generale.

Riprendo la disposizione della figura 5, e impiegando invece che la candela un ordinario becco di Bunsen, ci si accorge subito di una circostanza notevole. L'esperienza riesce se il becco vien tenuto afferrandolo per la gomma, non riesce più se si tocca con un dito il cannello metallico. In altre parole l'elettroscopio non si carica quando il sistema di particelle elettrizzate venga messo a terra.

Viceversa l'esperienza della figura 6 porta sempre ad un resultato positivo; e la cosa si intende subito pensando al meccanismo del processo. La seconda disposizione sperimentale è dunque da preferirsi, come quella che non dà luogo a equivoci.

Ciò posto, se in luogo della fiamma si porta presso il dischetto di destra una reticella di seta, nella quale stiano raccolte in gran numero delle lucciole, ben vive e brillanti, l'elettroscopio non si carica affatto. Può dunque un corpo essere luminoso, e malgrado questo non emettere le particelle elettrizzate.

8). Da una scintillina di pochi centesimi di millimetro, prodotta con un rocchetto di induzione, si cavano invece facilmente le cariche dei due segni (fig. 7). Quì la luminosità è piccola, e non è altissima nemmeno la tempera-

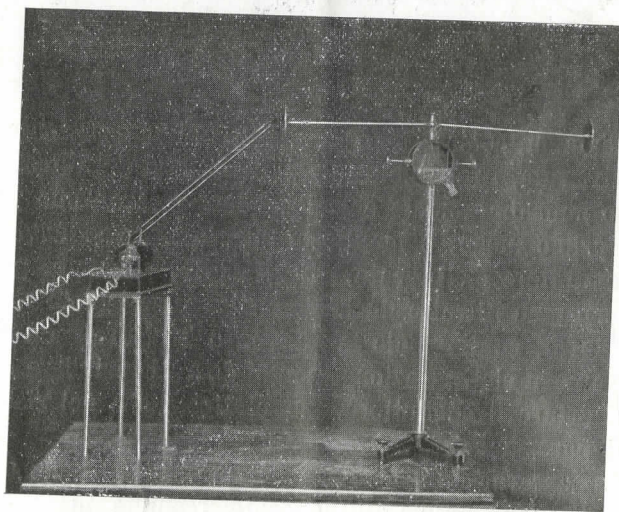



Fig. 7.

tura, ma intervengono senza dubbio dei fenomeni chimici, perchè si produce dell'ipoazotide.

Più interessante ancora è il caso di un pezzetto di fosforo, ben asciutto, che permette di ripetere ancora una volta l'esperienza con esito positivo. Un sistema nel quale avvengono delle reazioni, qualunque esse siano, si deve dun-

que ritenere, per ciò solo, fornito di particelle elettrizzate, e capace in condizioni opportune di emetterle.

Allo stesso resultato si giunge sostituendo il fosforo con un bicchierino che contenga un po' d'acqua acidulata e un pezzetto di zinco. L'idrogeno *nascente* appare carico, coi due segni.

9). Ma la fiamma, come notavo poco fa, non è soltanto la sede di decomposizioni e di ossidazioni violente, è anche un corpo a temperatura altissima; e ai corpi caldi conviene rivolgere adesso la nostra attenzione.

Noi prendiamo dunque un filo di platino, e facendolo percorrere da una corrente lo portiamo all'incandescenza (fig. 8). Subito si manifestano i soliti

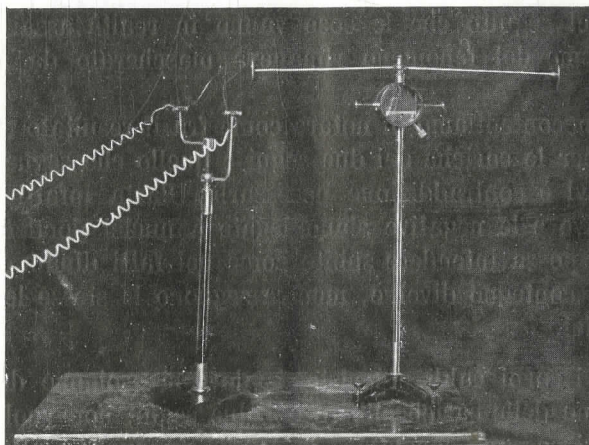



Fig. 8.

fenomeni; e così anche dal platino, che pure non si ossida, escono le particelle positive e le negative.

Il resultato della nostra ricerca è quindi meno semplice che non si fosse potuto sperare da principio. Se la fiamma è un sistema di particelle elettrizzate la cosa deriva certamente dalle reazioni complesse che vi si compiono, ma in parte anche segue, secondo ogni probabilità, dalla temperatura elevata; e del resto la temperatura procede alla sua volta dal fenomeno chimico.

10). Lo studio delle cariche emesse dal filo di platino arroventato merita di essere ripreso in altre condizioni, perchè se ne possono dedurre delle conseguenze estremamente notevoli.

Come nella primissima nostra esperienza (fig. 1) si carichi l'elettroscopio e al dischetto si accosti, invece della fiamma, il filo di platino col solito sostegno. La carica sia da principio negativa. Nel circuito del filo di platino si mandi la corrente, e si faccia aumentare di mano in mano l'intensità.

Appena il filo comincia a scaldarsi, assai prima però che diventi luminoso, ci accorgiamo che l'elettroscopio *perde*. L'emissione delle particelle positive si inizia dunque a temperature relativamente basse.

Resultati ben diversi si ottengono se la carica dell'elettroscopio cambia

di segno; bisogna infatti che il platino arrivi alla incandescenza perchè la dispersione si compia. E vuol dire che le particelle negative incominciano assai più tardi ad uscire dal filo.

Il fatto è, come si avvertiva, particolarmente interessante. Mentre nei fenomeni della elettrostatica classica non vi è modo di distinguere l'elettricità positiva dalla negativa, sicchè, in linguaggio matematico, si deve fare appena una quistione di segni, qui le due cariche mostrano per la prima volta delle proprietà bene distinte.

Ciò che le caratterizza e le differenzia, nel caso attuale come negli altri infiniti che avremo occasione di riconoscere più tardi, è la diversa *mobilità*. Dalla nostra esperienza sembra anzi si possa ricavare che le cariche positive siano le più mobili.

Vedremo nel seguito che le cose vanno in realtà assai diversamente, e che il meccanismo del fenomeno rimaneva mascherato da perturbazioni secondarie.

Per ora ci accontentiamo di notare come fra il resultato classico dell'identità di regime per le cariche dei due segni e quello che segue dallo studio del filo caldo non vi è contraddizione necessaria. Basta infatti supporre che le particelle positive e le negative siano legate a nuclei ponderali di massa diversa perchè si possa intendere subito come nei fatti dinamici le une e le altre mostrino un contegno diverso, mentre seguono le stesse leggi nei fenomeni puramente statici.

11). Che i corpi caldi e i sistemi, dove si svolgono delle reazioni chimiche contengano delle cariche libere dei due segni, non vuol dire ancora che le cariche non si possano constatare in condizioni anche molto diverse.

Realmente si è riscontrata in questi ultimi anni l'esistenza di certe particolari sostanze, le quali emettono in modo continuo delle particelle elettrizzate, senza che la loro temperatura si elevi di molto al disopra di quella dell'ambiente e senza che la costituzione chimica si alteri.

Sono queste le sostanze radioattive, che sembrano ormai grandemente diffuse alla superficie del suolo e negli strati profondi.

Con un mezzo centigrammo di bromuro di bario e radio, racchiuso dentro la sua capsuletta di ebanite, che reggo, per semplificare le condizioni sperimentali, con un manico di vetro, io posso ripetere tutte le esperienze che ho fatto da principio con la fiamma: posso scaricare un corpo comunque elettrizzato e dare all'elettroscopio una carica dei due segni.

È così una quinta sorgente di elettricità che si aggiunge alle altre già trovate dell'alta temperatura e del processo chimico e a quelle notissime dello strofinio e del contatto.

12). Se in tanti modi diversi possono generarsi delle particelle elettrizzate è ovvio che esse si incontrino assai comunemente, e che abbiano una parte cospicua nella produzione di molti fenomeni naturali.

La cosa appare vera quando si osservi che, per citare un solo esempio cospicuo, i fatti più grandiosi della meteorologia hanno origine appunto dalla presenza delle cariche libere.

Se da una campana di vetro, appoggiata ad un piatto metallico e collegata con la macchina pneumatica, si estrae l'aria, non si vede di solito nulla di particolare; e il gas rarefatto rimane sempre trasparente, come prima. Nemmeno mandando attraverso alla campana un raggio di luce si vede l'aria mutare di aspetto.

Ma riportiamo la pressione al valore normale, stacchiamo la campana, e facciamole bruciare dentro per pochi secondi una candela accesa (fig. 9). Poi

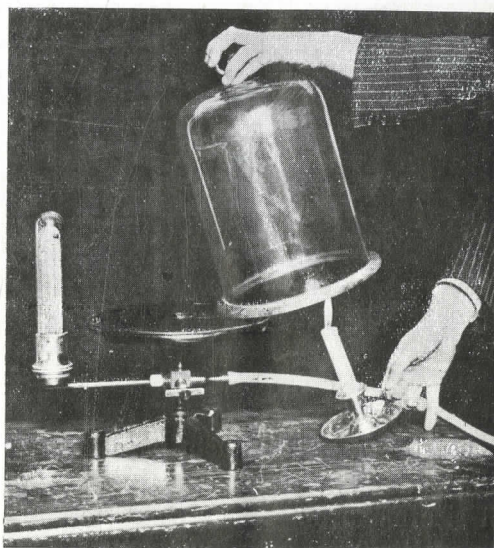



Fig. 9.

torniamo a pompare; ai primi colpi appare adesso una nebbia fitta e bigia, che riesce anche meglio visibile sul percorso della luce.

Non si deve dunque credere che nemmeno in natura si formino le nuvole e la nebbia, quando manchino le particelle elettrizzate. I vecchi torinesi raccontano che le giornate nebbiose erano a Torino, venti o trent'anni or sono assai più rare che non siano adesso; la cosa non è assurda e si può benissimo attribuire allo sviluppo industriale la maggiore frequenza della nebbia. I camini degli stabilimenti sono infatti delle sorgenti copiose di particelle elettrizzate.

13). Ma torniamo ancora una volta alle fiamme, dalle quali abbiamo preso le mosse, e vediamo di constatare un'altra loro proprietà caratteristica.

Io ripeterò anzitutto un'esperienza che si suole eseguire in tutti i corsi elementari. Due elettroscopii uguali (fig. 10) vengono collegati con un'asta metallica, provvista di un manico isolante.

I due elettroscopi hanno sempre quei conduttori che servirono per le esperienze di dispersione (si veda la fig. 1), e noi li disponiamo adesso, i due conduttori, coi dischetti rivolti all'esterno. Ad uno di questi accostiamo un bastone elettrizzato, e mentre tutto il sistema rimane carico per induzione togliamo via rapidamente l'asta conduttrice. Le foglie nei due elettroscopii si conservano

aperte; e si verifica subito che i segni sono distribuiti secondo la regola notissima.

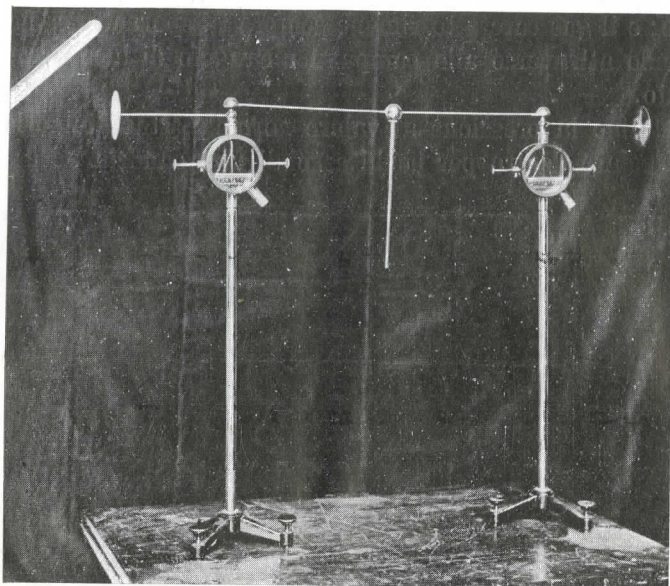



Fig. 10.

Ebbene, quello che si è fatto con l'asta metallica si può rifare, mettendo al posto suo la fiamma di una candela.

Gli elettroscopii si armano adesso coi conduttori più lunghi (quelli della figura 6), allineando questi ultimi sopra una retta, in modo che due dischetti rimangano faccia a faccia, a forse quattro o cinque centimetri di distanza (fig. 11). Fra i dischetti affacciati si interpone la fiamma mentre dall'esterno si avvicina il solito bastone di vetro strofinato.

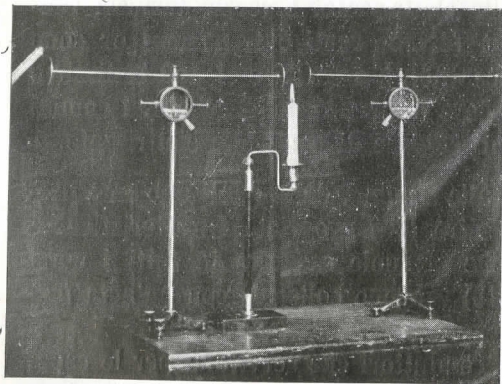



Fig. 11

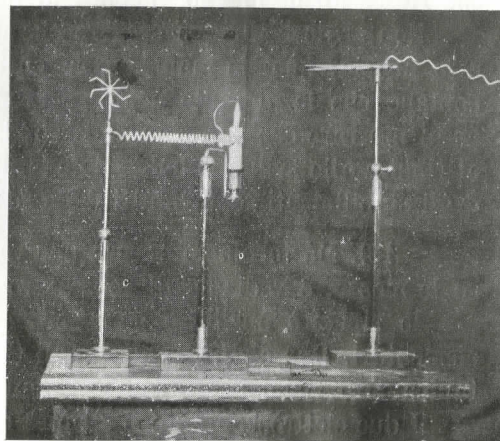



Fig. 12.

Dopo un mezzo minuto si toglie la candela e dopo un altro poco l'induttore. Di nuovo gli elettroscopii si mostrano carichi, al solito modo. Per espri-

mere tutto con una parola sola si potrebbe concludere che la fiamma *conduce*, proprio come un'asta di rame o d'ottone.

14). La stessa cosa risulta da un'altra esperienza più semplice, la quale, in un certo senso almeno, deriva da quella di Bennet e Volta.

Un fascio di punte metalliche è collegato con la macchina di Whimshurst e davanti alle punte sta una candela. Un filo di rame sottile congiunge la regione, dove sarà più tardi la fiamma, con uno di quei mulinelli che servono alle esperienze elementari di elettrostatica; ed è tutto (fig. 12).

Se la macchina funziona, mentre la candela è spenta, il mulinello rimane in riposo; ma se in più si accende la fiamma esso incomincia a girare.

La fiamma dunque e lo spazio che la circonda hanno stabilito fra le punte e il filo una strada conduttrice, hanno fatto quello che si sarebbe potuto ottenere riunendo semplicemente punte e filo con un tratto di reoforo.

15). L'esperienza dei due elettroscopii (fig. 11) non riesce solamente con la fiamma della candela. Ogni sistema di particelle, almeno se non è a terra, dà luogo agli stessi fenomeni.

Così per esempio si può stabilire il ponte portando fra i due dischetti affacciati la capsula del bromuro di radio.

Il resultato è dunque generale, e si può enunciare dicendo che « un sistema di cariche libere funziona come un corpo conduttore ».

16). Questa conclusione, a voler considerare le cose un po' più da vicino, appare bensì come di tipo storico anzi che di tipo logico.

Ci si figura di intendere e di spiegare il nuovo fenomeno quando lo assimiliamo ad un altro, che ci è noto da gran tempo.

Ma qui è il caso di vedere se non sia più opportuno invertire la frase e dire invece che i conduttori si comportano come sistemi di particelle elettrizzate.

In realtà il fenomeno della conduzione metallica, se pure ci è famigliare, resta sempre oscuro; non ci si stupisce più che un filo di rame guidi la corrente, ma *come* la guidi non sappiamo.

Il modo di funzionare del sistema di cariche libere è invece immediatamente chiaro. Noi *vediamo* per così dire le particelle dei due segni, prodotte dalla fiamma o dal radio, muoversi fra i dischetti affacciati, nei due versi opposti, e trasportare le due elettricità.

Non potrebbe il metallo agire allo stesso modo per una ragione profonda? per la identità del meccanismo?

Ci si presenta in altre parole, spontanea, l'ipotesi che i metalli contengano anch'essi, come la fiamma e come l'aria che circonda il radio, delle cariche libere; quando così fosse la natura intima dei conduttori sarebbe finalmente conosciuta.

Ma l'intuizione, se basta, come affermano, a fondare la filosofia, non basta ancora a costruire la fisica. Prima di trasformare l'ipotesi in teoria dobbiamo fare un passo ulteriore, dobbiamo verificare l'esistenza delle particelle elettrizzate nell'interno del metallo, pesarle se è possibile, e contarle.

II. CONFERENZA

L'ELETTRONE NEGATIVO

1). Abbiamo veduto che la conduzione metallica si può interpretare come un semplice fenomeno di convezione, nel senso che, i metalli, quando contenessero dei sistemi di cariche libere, darebbero luogo ai fenomeni che si osservano realmente in natura.

Vogliamo proporci adesso di precisare il modello; al quale scopo conviene discutere anzitutto un'osservazione preliminare. La fiamma e lo spazio che circonda una sostanza radioattiva racchiudono delle particelle elettrizzate mobili dell'uno e dell'altro segno, come si ricava con certezza dall'esperienza di Maccarrone. È ovvio che le positive e le negative entrino in gioco a collegare i due elettroscopii nel fenomeno dell'induzione.

Ma è facile riconoscere, se si riflette un momento al meccanismo del processo, che agli stessi resultati si potrebbe giungere ancora quando, le cariche dei due segni essendo presenti, quelle di una specie soltanto, le positive oppure le negative, fossero mobili e prendessero parte alla convezione dell'elettricità.

Se pure un metallo contiene delle particelle elettrizzate, e se ai loro moti si deve il suo comportamento, la piena conoscenza del sistema implica dunque una quistione di vincoli.

Tre ipotesi infatti si possono considerare come ugualmente legittime:

a) che le cariche positive e le negative siano tutte mobili;

b) che le positive stiano praticamente ferme e le altre soltanto si muovano;

c) che invece le particelle positive esercitino la funzione di vettori, le negative rimanendo in riposo.

Manifestamente la ricerca sperimentale che deve permetterci di decidere in favore dell'ipotesi del trasporto servirà anche a sceverare la buona fra queste tre determinazioni ulteriori.

I due problemi infatti saranno risolti insieme quando si riesca a provare che le cariche di un segno e quelle sole sono mobili nel metallo; perchè la loro presenza implica la presenza delle cariche di segno opposto, in quanto ogni conduttore appare neutro in condizioni normali.

2). Nella conferenza precedente ci si è offerto un primo fenomeno, pel quale si potevano differenziare le due categorie di particelle; da un filo caldo,

a temperatura non troppo elevata, inferiore a quella dell'incandescenza, uscivano infatti le sole cariche positive. Sicchè si sarebbe tentati di attribuire a queste la parte di vettori.

Un altro fatto, noto già da gran tempo, sembra favorevole alla stessa conclusione. Alludo al fenomeno, osservato da Lichtenberg, nella seconda metà del secolo decimosettimo, del movimento delle cariche che effluiscono da una punta, alla superficie di un dielettrico armato.

Un'asticella metallica, bene acuminata, tenuta da un sostegno isolante

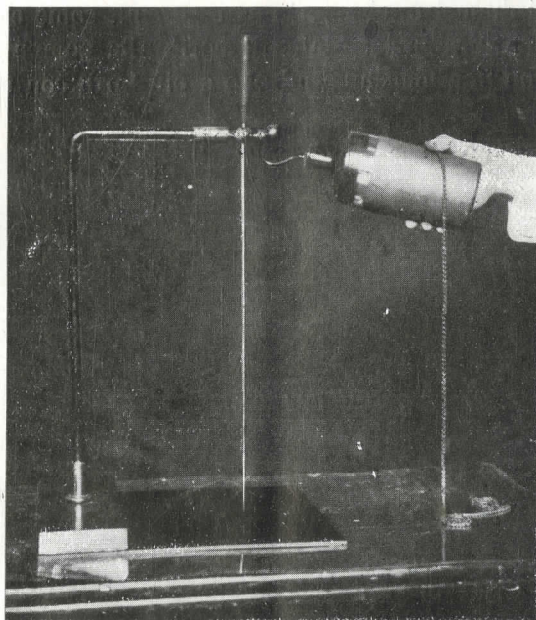



Fig. 13.

in posizione verticale (fig. 13), si appoggia sopra una lastra di ebanite, portata alla sua volta da un foglio di latta.

Carichiamo un piccolo condensatore, e accostiamo il suo bottone all'asta metallica, mentre l'armatura esterna è messa, con una catenella, in comunicazione con la latta: la carica effluisce, almeno in parte, dalla punta, su la superficie dell'ebanite. Per riconoscere le trajettorie delle particelle elettrizzate basta adesso projettare sulla lastra, con un soffietto a reticella, il solito miscuglio di solfo e minio.

Si trova che la figura corrispondente all'efflusso dell'elettricità positiva è costituita da una grande stella gialla, con molti raggi a zig zag; la figura negativa è invece un piccolo dischetto rosso.

E bisogna pure concludere che le cariche positive hanno percorso dei tratti notevolmente più lunghi.

Questo risultato, e l'altro al quale si accennava più su, hanno, meglio che un interesse fisico, un'importanza logica considerevole, in quanto ci ammoniscono del pericolo di una conclusione troppo affrettata nelle ricerche sperimentali.

Come si è già avvertito a suo tempo, le particelle negative sono invece le più mobili, e anche adesso, come accadeva allora, delle cause perturbatrici intervengono a modificare l'andamento del fenomeno.

3). Torneremo a discutere più tardi sopra questi due casi d'eccezione; adesso affrontiamo l'esame di una serie di fatti, nei quali le differenze di natura fra le cariche positive e le negative sono particolarmente manifeste.

Sono tutti quei fatti, cui dà luogo il passaggio dell'elettricità in un gas rarefatto.

Prendiamo un lungo tubo cilindrico di vetro, di sessanta centimetri di lunghezza e quattro di diametro, che porta agli estremi, come elettrodi, due grossi fili di alluminio. Una diramazione laterale porta alla pompa, e il vuoto si pratica da principio con una macchina ad olio e più tardi con una Gaede rotativa a mercurio (fig. 14).

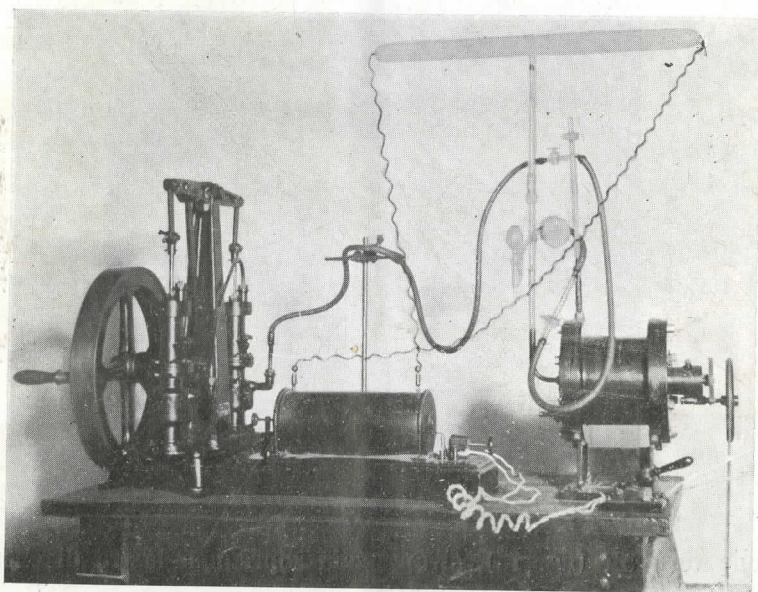



Fig. 14.

La scarica è eccitata da un piccolo rocchetto di Ruhmkorff.

A pressione normale il flusso dell'elettricità non si stabilisce ancora, ma quando si arriva ad una pressione di quattro o cinque centimetri di mercurio si incomincia a vedere una lunga scintilla rossa, a zig zag.

Andiamo avanti; la scarica si raddrizza, e nello stesso tempo si allarga e finisce per occupare tutta la sezione del tubo. Essa termina sulla punta dell'elettrodo positivo (anodo), ma abbraccia invece il negativo (catodo), e mentre è rossa in tutta la lunghezza diventa violacea a questo estremo.

Più tardi, davanti al catodo, appare uno spazio oscuro, e la colonna positiva si stratifica; le stratificazioni si allargano e la luce catodica avanza, poi tutto il fenomeno perde di intensità.

Dall'elettrodo negativo partono adesso dei raggi di color grigio lavanda, che eccitano su la parete del tubo una vivace fluorescenza verde. Sono i cosidetti *raggi catodici*.

Procedendo ancora più innanzi con la rarefazione, anche il fascio catodico si scolora, la fluorescenza si affievolisce e da ultimo scompare. La scarica non passa più.

4). Fermiamoci ad esaminare alcune proprietà dei raggi catodici. Impiegando all'uopo un tubo di Braun (fig. 15).

In questo funziona da catodo un disco che sta all'estremo del tratto più sottile (a destra nella figura), mentre un diaframma limita il fascetto catodico, il quale viene a segnare sopra uno schermo (alla sinistra estrema) una macchia di fluorescenza. Due lastrine metalliche, comunicanti con due elettrodi, costituiscono un piccolo condensatore e nell'interno di questo deve passare la radiazione catodica.

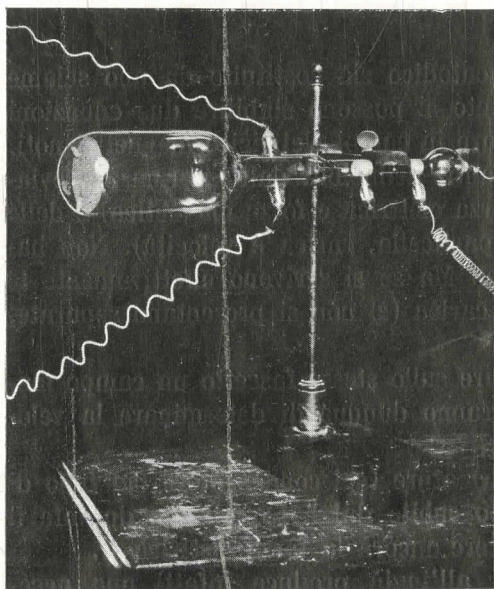



Fig. 15.

Fig, 16.

Se, mentre il rocchetto funziona, si stabilisce fra le armature una differenza di potenziale di 200 o 250 Volts, il fascio è deviato nel piano verticale, e propriamente, quando la lastra superiore è positiva, è deviato verso l'alto.

I raggi catodici sentono dunque le azioni elettrostatiche, come se fossero costituiti da particelle cariche di elettricità negativa. Se ora, dall'alto, avvicino allo schermo fluorescente un polo magnetico, la macchia si sposta di nuovo, ma si sposta di fianco. Se il polo è un polo nord la macchia va verso la destra di un osservatore che stando presso il catodo guarda la base del tubo.

E però i raggi catodici sono perturbati dalle forze magnetiche, come se fossero costituiti da particelle negative in moto.

5). Del resto, che vi sia nella radiazione catodica un trasporto di cariche, e di cariche negative, lo si dimostra direttamente con un'esperienza dovuta al Perrin.

Si impiega per questa un tubo di struttura un poco complessa (fig. 16); nel quale tubo, oltre ai soliti elettrodi, vi è ancora un conduttore destinato a raccogliere le cariche, e uno schermo, comunicante col suolo, che deve difendere il conduttore dalle azioni puramente elettrostatiche. Lo schermo è forato appena in un breve tratto della superficie, nella parte rivolta verso il centro del pallone; e al conduttore è attaccato un filo metallico, che si tiene all'altro estremo con un manico isolante, in modo da poterlo accostare, al momento opportuno, al bottone di un elettroscopio.

Il catodo è messo in tale posizione che i raggi non passano per il foro dello schermo, ma battono su la parete del pallone.

Per fare l'esperienza si eccitano anzitutto le scariche; e poi con un magnete si devia il fascio catodico, in modo da condurlo ad attraversare l'apertura e a colpire il conduttore. Quando questa condizione di cose è raggiunta, un aiuto accosta il filo all'elettroscopio, che immediatamente si carica, e si carica di elettricità negativa.

6). Se si ammette che un raggio catodico sia costituito da uno sciame di particelle negative in rapido movimento si possono stabilire due equazioni per le deviazioni che si devono manifestare in campi elettrici e magnetici noti.

Le equazioni contengono delle costanti, deducibili dall'esperienza (deviazione elettrica, deviazione magnetica, forza elettrica e forza magnetica) e delle quantità incognite (massa di ciascuna particella, carica e velocità). Non bastano dunque a determinare le incognite. Ma se si scrivono effettivamente le formole si trova che la massa (m) e la carica (e) non si presentano separate, ma sempre riunite nel rapporto e/m.

Due esperienze condotte facendo agire sullo stesso fascetto un campo magnetico ed un campo elettrico permetteranno dunque di determinare la velocità di traslazione (v) e il rapporto e/m.

Se si chiama l la lunghezza delle armature (nel condensatore del tubo di Braun) è facile calcolare lo spostamento subìto dal basso all'alto durante il percorso, quando si supponga di conoscere ancora la forza elettrica E.

La forza, che supponiamo diretta all'ingiù produce infatti una accelerazione:

$$-\frac{Ee}{m}$$

e però produce nel tempo del passaggio lo spostamento

$$-\frac{Ee}{2m} \cdot t^2;$$

d'altra parte il tempo t è legato alla velocità (v) e alla lunghezza (l) dalla relazione

$$l = vt,$$

sicchè si ottiene come misura della deviazione elettrica (ε)

$$\varepsilon = \frac{Ee}{2m} \cdot \frac{l^2}{v^2}. \qquad (1)$$

Quanto al fenomeno magnetico, bisognerà ricordare che sopra un elemento di corrente di lunghezza ds, percorso dall'intensità i si esercita nel campo (normale) M la forza

$$Mi \, . \, ds,$$

perpendicolarmente al piano di M e ds. Nel caso nostro, se ds è il segmento di traiettoria che contiene una data particella potremo scrivere

$$\frac{ds}{e} = \frac{v}{i},$$

perchè v è la lunghezza dell'arco lungo il quale è distribuita la carica (i) che passa per la sezione di un tubetto di corrente nell'unità di tempo.

L'espressione della forza diventa dunque

$$Mev,$$

il segno potendosi ritenere positivo, ciò che corrisponde a scegliere in modo conveniente la direzione positiva di un asse orizzontale, perpendicolare alla direzione iniziale del raggio catodico.

Ma una forza normale costante Mev produce un'accelerazione normale e costante Mev/m, e il moto diventa circolare col raggio R determinato dalla

$$\frac{Me}{m} = \frac{v}{R},$$

ciò posto la deviazione magnetica (μ) si otterrà, applicando l'equazione del cerchio, dalla

$$l^2 - 2R\,\mu + \mu^2 = 0;$$

eliminando la R fra queste ultime due viene dunque

$$(2) \qquad \mu = \frac{Me}{2\,m} \cdot \frac{\mu^2 + l^2}{v}.$$

e così le (1) e (2) sono appunto, come si era annunciato, due equazioni per la velocità v e il rapporto e/m.

7). Dalle esperienze risulta che la velocità varia con le condizioni, restando compresa fra 1/3 e 1/10 della velocità della luce.

Il rapporto e/m è sempre lo stesso, qualunque sia il gas introdotto da principio nel tubo e la differenza di potenziale agli elettrodi.

Quest'ultimo resultato si può interpretare ammettendo che in tutti i gas esistano delle particelle negative, caratterizzate da quel particolare valore di e/m.

Ma dall'elettrolisi si può dedurre il rapporto della carica alla massa per un atomo di idrogeno; e si trova all'incirca

$$\frac{e'}{m'} = 10^4.$$

Dalle esperienze di Thomson e di altri, risulta invece per le particelle negative dei raggi catodici

$$\frac{e}{m} = 2 \cdot 10^7;$$

viene dunque

$$\frac{e}{m} = 2 \cdot 10^3 \cdot \frac{e'}{m'}.$$

Questa condizione si può verificare per infinite coppie di valori delle costanti e ed m; ma due coppie meritano una considerazione particolare, e cioè

$$e = e' \qquad\qquad e = 2 \cdot 10^3 \cdot e$$

$$m = m'/2 \cdot 10^3, \qquad\qquad m = m' \quad ;$$

per la prima posizione la particella catodica avrebbe la stessa carica dell'atomo di idrogeno e una massa duemila volte minore; per la seconda una massa uguale e una carica duemila volte maggiore.

In base a criterî sui quali non ci possiamo trattenere, si ritiene che la prima ipotesi sia la più plausibile, e si ammette dunque l'esistenza di masse materiali elettrizzate negativamente tanto più piccole del più piccolo atomo conosciuto.

Codeste masse sarebbero presenti negli atomi di tutte le sostanze gassose. Hanno ricevuto il nome di *elettroni*.

8). Ed ora torniamo al problema che ci interessa più particolarmente, cioè allo studio della conduzione metallica.

Ci si era presentata l'ipotesi che la conduzione fosse essa stessa un fenomeno di convezione, che cioè il trasporto delle cariche lungo un filo metallico fosse affidato a particelle elettrizzate, e si pensava anche alla possibilità che le particelle di un segno fossero più mobili delle altre.

Avremo fatto un passo innanzi se riusciremo a dimostrare che in un metallo esistono le cariche, di cui si è intraveduta l'esistenza; e se potremo stabilire che alcune fra esse sono più facilmente liberabili delle altre.

Volendo giungere ad un resultato di questa natura è naturale di ricorrere all'impiego di quegli agenti che son capaci di eccitare la fluorescenza. Poichè la luce è senza dubbio un fenomeno di natura elettromagnetica si può ben

ammettere che quando esistano nell'atomo delle particelle elettrizzate, i loro movimenti appunto diano origine al processo luminoso.

Eccitare la fluorescenza equivarrebbe dunque al mettere in moto quelle fra le particelle elettrizzate che sono più facilmente mobili; e non è da escludersi che quando le oscillazioni risultassero abbastanza ampie, potesse in qualche caso andar rotto l'edificio atomico, e potessero le particelle mobili venire liberate dai loro legami.

Ora gli agenti che più efficacemente eccitano la fluorescenza sono i raggi di Röntgen e la luce ultravioletta; a questi ci rivolgeremo per tentare di risolvere il problema.

9). Ma esponendo ai raggi di Röntgen emessi da un tubo di Crookes un conduttore elettrizzato (fig. 17), si trova che le cariche positive e le negative

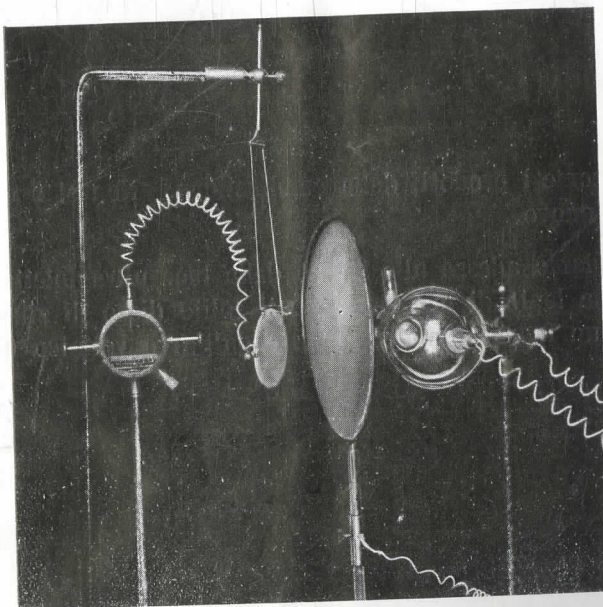



Fig. 17.

vengono disperse con la stessa facilità. Non si manifesta dunque l'effetto differenziale che s'andava cercando.

Però l'esito negativo dell'esperienza non deve impressionare, in quanto è facile riconoscere che i raggi non agiscono direttamente sul corpo elettrizzato.

Si esponga infatti all'azione dei raggi una scatola di cartone, chiusa completamente, salvo che alla parte superiore, dove rimane un foro in forma di fenditura.

Fermato il rocchetto si introduca per la fenditura un disco elettrizzato, di zinco, per esempio, riunito all'elettroscopio (fig. 18) e si vedrà che esso si scarica rapidamente, qualunque sia poi il segno della sua carica.

L'azione si esercita dunque sul gas ambiente, nel caso nostro su l'aria: l'aria viene ionizzata, e le cariche divenute libere agiscono sul corpo elettriz-

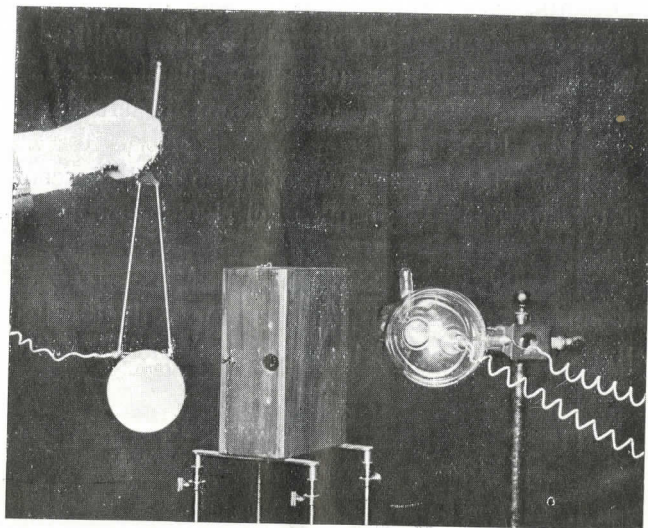



Fig. 18.

zato, appunto come i prodotti della combustione. Non si è dunque imparato finora nulla di nuovo.

10). Passiamo adesso allo studio della luce ultravioletta; e proiettiamo all'uopo con una lente di quarzo sopra il solito disco di zinco, collegato all'elettroscopio, un fascio di luce prodotta dall'arco voltaico (fig. 19).

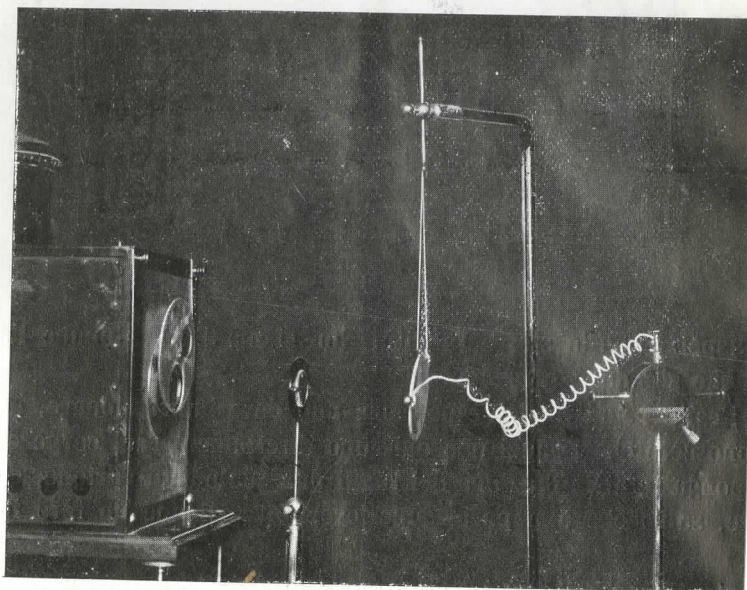



Fig. 19.

Se il disco è elettrizzato negativamente la carica viene subito dispersa: se è elettrizzato positivamente la carica rimane (fenomeno di Hallwachs).

Nella radiazione complessa dell'arco i raggi ultravioletti sono i soli attivi; infatti l'esperienza riesce ancora se fra la lente e il disco si interpone una lamina di gesso, e fallisce per l'interposizione di una lamina di vetro o di mica.

Ma il gesso è trasparente (come il quarzo) per le onde più corte, mentre il vetro e la mica sono quasi del tutto opachi.

Il fenomeno si mostra bene con lo zinco, purchè sia ripulito di fresco, si mostrerebbe anche meglio col sodio e col potassio, in generale coi metalli che sono più spiccatamente elettropositivi nella scala di Volta.

Impiegando un elettroscopio assai più sensibile di quello di Exner che ci ha servito fin qui, si osserva inoltre che il metallo esposto alla luce ultravioletta, si elettrizza positivamente, o, in altre parole, che la perdita delle cariche negative si verifica, almeno in piccola parte, anche per lo zinco allo stato neutrale (fenomeno di Righi).

Vi sono dunque nei conduttori delle particelle negative, che la luce riesce a liberare; e per la continuità del fenomeno si può ben ammettere che esse siano della natura di quelle che nelle esperienze classiche *caricano* negativamente un metallo.

Ma di queste ultime fu dimostrato dal Lenard che esse sono dei veri elettroni, identici a quelli che costituiscono i raggi catodici.

L'apparecchio del Lenard (fig. 20) è un grande tubo con quattro elettrodi.

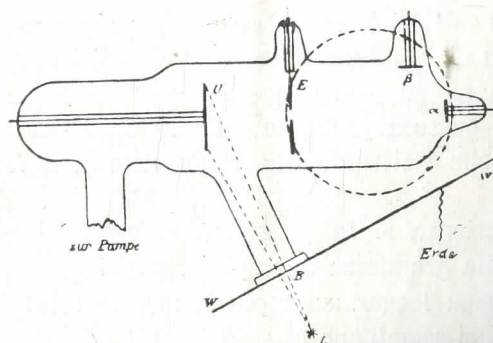



Fig. 20.

U è il catodo, sul quale si esercita l'azione, un dischetto d'alluminio di 1 cm. e 1/2 di diametro; di fronte ad esso sta l'elettrodo E, ed è uno schermo, pure d'alluminio, comunicante col suolo, e provvisto d'un foro di 1/2 millimetro.

L è la sorgente luminosa (nelle esperienze del Lenard una scintilla fra elettrodi di zinco), B una lastrina di quarzo, e W uno schermo metallico, a terra.

Se l'elettrodo U si carica di elettricità negativa, e si illumina, esso perde, anche nel vuoto più perfetto, quasi istantaneamente, la sua carica.

Ma se frattanto l'elettrodo α viene fatto comunicare con un elettroscopio di Exner, lo si vede caricarsi a poco a poco, di elettricità negativa. In condizioni normali β non raccoglie invece nulla.

In fondo abbiamo ripetuto l'esperienza di Perrin: le cariche liberate dal disco U formano dei veri raggi catodici, che vengono ad elettrizzare il dischetto α.

Che proprio siano dei raggi catodici si dimostra accostando al tubo un rocchetto, percorso da corrente (con l'asse normale al piano della figura) (1); se il verso di questa è scelto opportunamente l'elettrodo β raccoglie dell'elettricità negativa: i raggi catodici hanno subìto la deviazione magnetica.

Misure accurate dimostrano che anche in questo caso il rapporto e/m si mantiene prossimo a 2.10^7. Sono così gli stessi *elettroni* che si incontrano negli atomi dei gas e dei metalli.

Negli uni e negli altri vi saranno anche delle particelle elettrizzate positivamente, ma è ovvio ammettere che esse siano assai meno mobili delle negative.

Elettrizzare un conduttore significa in ultima analisi dargli o togliergli un certo numero di *elettroni*.

11). L'azione della luce ultravioletta sui metalli si prova ancora con un'altra esperienza, che vale nel tempo stesso a illuminare il meccanismo della scarica nei gas.

Per una serie di fatti si è condotti a credere che anche la scarica distruttiva sia un fenomeno di convezione, come l'elettrolisi e la conduzione.

Se la scarica si inizia lo si deve secondo ogni probabilità alla presenza di qualche molecola gassosa jonizzata, ma è chiaro che, se artificialmente si portano delle particelle elettrizzate fra gli elettrodi, il fenomeno ne riuscirà agevolato.

Una prima esperienza si fa ponendo in derivazione sopra un rocchetto di Ruhmkorff di media grandezza due spinterometri uguali. Lasciando uno degli intervalli di scarica leggermente più lungo, le scintille passano soltanto nell'altro; ma le veci si scambiano se sotto a quel primo spinterometro si porta la fiamma di una candela. La stessa disposizione sperimentale potrebbe servire per illustrare l'azione della luce, e propriamente della luce ultravioletta, su le scariche. Ma l'esperienza si ottiene anche meglio ricorrendo ad un altro artifizio.

Se fra le palle di uno spinterometro si introduce ancora una terza pallina, che si mantiene isolata, mentre le esterne comunicano coi poli del rocchetto, si osserva che le scariche passano in generale per le configurazioni dissimetriche, e non passano più quando la sfera mediana venga esattamente alla metà dell'intervallo.

---

(1) Il contorno del rocchetto è segnato con una linea punteggiata.

Si può così, per tentativi, rintracciare una condizione nella quale appena le scariche cessano; ed è per lo spinterometro a tre palle (fig. 21) una condizione di massima sensibilità.

Basta allora che ad una certa distanza si facciano scattare delle scintille (fig. 22), perchè nello spinterometro grande incomincino delle scariche vivacissime.

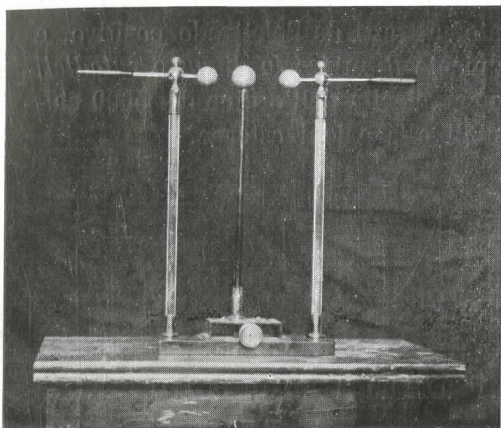



Fig. 21.

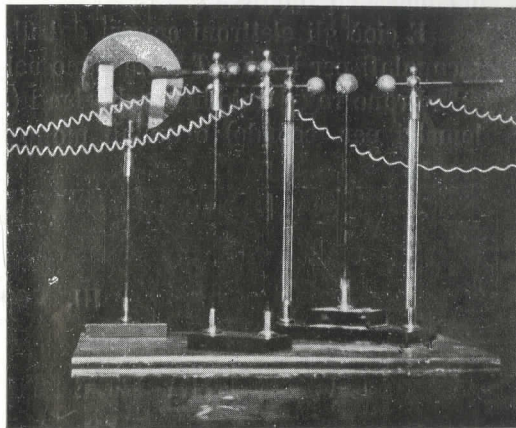



Fig. 22.

Si riconosce agevolmente che l'azione è dovuta ai raggi ultravioletti e che s'esercita su l'elettrodo negativo. Sono gli elettroni liberati dalla luce che assumono, almeno in parte, il compito di trasportare le cariche.

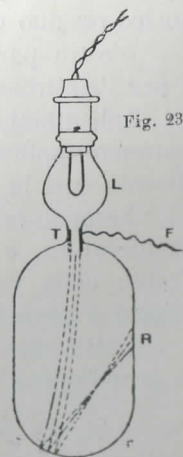
12). Ed ora ci rimane soltanto da spiegare perchè dal filo caldo escano invece da principio le sole cariche positive. Si tratta come si è già accennato ripetutamente di una perturbazione, dovuta secondo ogni probabilità al gas che circonda il filo.

J. J. Thomson ha trovato infatti che se l'esperienza si ripete nel vuoto non vengono emesse che particelle negative, il fenomeno incominciando solo a temperatura elevata

Secondo certe ricerche dell'Occhialini le cariche positive, che anche noi abbiamo riscontrato sarebbero un prodotto di jonizzazione dei gas occlusi dal filo; ma la cosa non è ancora completamente chiara.

Fig. 23.

13). Comunque, se leviamo l'aria dall'intorno del conduttore, per semplificare le condizioni dell'esperienza, le particelle negative emesse a temperature altissime formano dei veri raggi catodici, e si mostrano identiche ai veri e proprii elettroni. Il professor Houllevigue, dell'università di Marsiglia, ha fatto in proposito delle ricerche estremamente interessanti.

La sorgente era nelle sue esperienze il filamento (di carbone) di una lampada a basso potenziale (per esempio di 20 volts e 5 ampères). L'ampolla *L* (fig. 23) di codesta lampada veniva collegata con un tubo di vetro (*T*) al recipiente *R*. Si praticava il vuoto

con molta cura e scaldando tutto l'apparecchio fino a duecento gradi in una stufa si allontanavano anche le ultime traccie dei gas occlusi nel filo o aderenti alle pareti.

L'elettrodo cilindrico in *T* veniva poi caricato ad un potenziale di 100 o 200 volts, e la lampada accesa.

In queste condizioni si manifestavano secondo l'Houllevigue dei fenomeni del massimo interesse.

E cioè gli elettroni emessi dal filamento, attratti dall'elettrodo positivo, e incanalati per il tubo *T* formavano nel recipiente *R* un *fascio di raggi catodici.*

Erano raggi catodici molto lenti (con una velocità dell'ordine dei 5000 chilometri per secondo) e quindi molto sensibili alle azioni esterne.

III. CONFERENZA

LA TEORIA ELETTRICA DELLA MATERIA

1). Se esistono negli atomi metallici delle particelle positive e negative, e le negative sono più mobili delle altre, ci possiamo figurare un metallo in condizioni ordinarie come risultante da un gran numero di atomi neutri e da qualche atomo dissociato. Vi saranno in altre parole dei grossi nuclei positivi e degli elettroni negativi vaganti fra gli atomi neutri.

La massa dei nuclei positivi è enorme in confronto di quella degli elettroni, perchè se un elettrone è 2000 volte più leggiero di un atomo di idrogeno sarà 216.000 volte più leggero dell'atomo di argento e 215.999 più leggero del nucleo residuo di questo metallo.

D'altra parte le cariche sono, in valore assoluto, identiche per il nucleo e per l'elettrone.

Agli atomi, ai nuclei e agli elettroni che insieme costituiscono il metallo, potremo applicare i concetti e i resultati della teoria cinetica dei gas, la quale diventa così la base dell'elettrodinamica.

Secondo la teoria cinetica la forza viva della particella è una misura della temperatura, e dunque la velocità media degli elettroni sarà enorme in confronto della velocità media degli atomi neutri o dei nuclei positivi, che fa presso a poco lo stesso.

Tutto succede dunque come se fra atomi e nuclei immobili procedessero a grandissima velocità gli elettroni.

2). Se per una ragione qualunque si produce un campo elettrico, gli elettroni, ed essi soli in prima approssimazione, ne seguiranno gli stimoli, e così si determinerà una *corrente*, cioè un trasporto di elettricità.

Quello che si chiama con le convenzioni ordinarie il verso della corrente è per l'appunto opposto a quello in cui, secondo la teoria attuale, muoverebbero effettivamente gli elettroni.

Una corrente guidata da un filo metallico ha delle analogie con un fascio di raggi catodici, ma non gli è identica.

È facile vedere infatti che le azioni magnetiche, secondo la teoria, devono continuare a manifestarsi anche nel caso della corrente così detta di conduzione, mentre le azioni elettriche devono mancare.

Senza insistere sopra il secondo punto sarà facile verificare invece la prima cosa. Basta all'uopo collocare in un campo magnetico un cordoncino metallico flessibile, percorso da una corrente intensa; il cordoncino si deforma appunto come un raggio catodico. Anche i segni delle deviazioni sono identici, quando si tenga conto di una osservazione precedente.

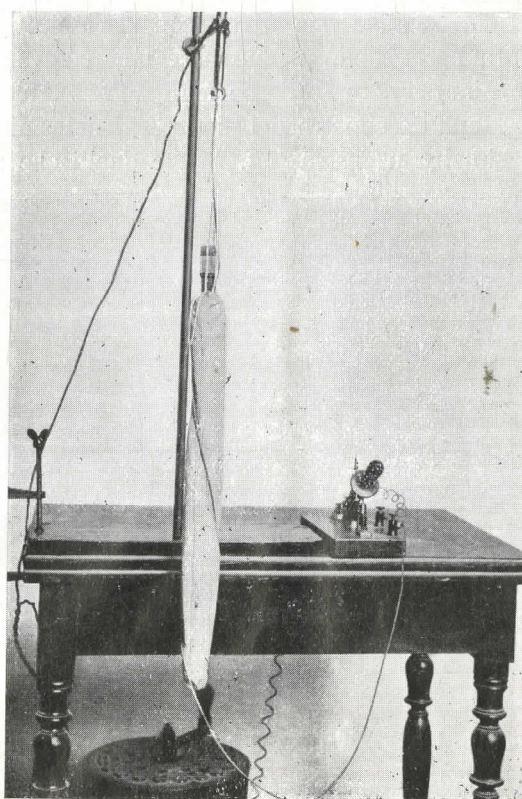



Fig. 24.

In pratica il conduttore flessibile viene sospeso (fig. 24) presso un robusto magnete permanente, avvolto, per evitare i corti circuiti, in una fodera di seta.

3). Studiando il modello che ci siamo venuti formando non è difficile calcolare l'intensità della corrente in un filo conduttore, quando si ammetta di conoscere il numero degli elettroni liberi nell'unità di volume, la loro velocità media e il percorso libero medio.

Si trova un'espressione secondo la quale la resistenza specifica è pro-

porzionale all'energia cinetica media dell'elettrone o, ciò che fa lo stesso, alla temperatura assoluta. Il fatto, noto da gran tempo, che il coefficiente di aumento di resistenza per i metalli puri è uguale al coefficiente di dilatazione dei gas appare come una conseguenza immediata della teoria.

4). In un filo metallico gli elettroni saranno sollecitati da forze elettriche, in quanto subiscono l'azione di altri elettroni e dei nuclei positivi, e da forze di natura meccanica, in quanto variando da punto a punto la loro densità si dovranno produrre delle differenze di pressione.

La forza elettrica, ove si indichi con V il potenziale e con e la carica dell'elettrone (in valore assoluto), sarà per l'appunto

$$+ e \frac{dV}{dx} .$$

Quanto alla forza di origine meccanica consideriamo, per calcolarla, un filo cilindrico, e contiamo secondo il suo asse una coordinata cartesiana x. Conduciamo poi due piani AA' e BB', normali all'asse, a distanza dx.

Gli elettroni che stanno a sinistra del piano AA' determinano su tale piano una pressione p da sinistra a destra (fig. 25), e quelli che stanno alla destra

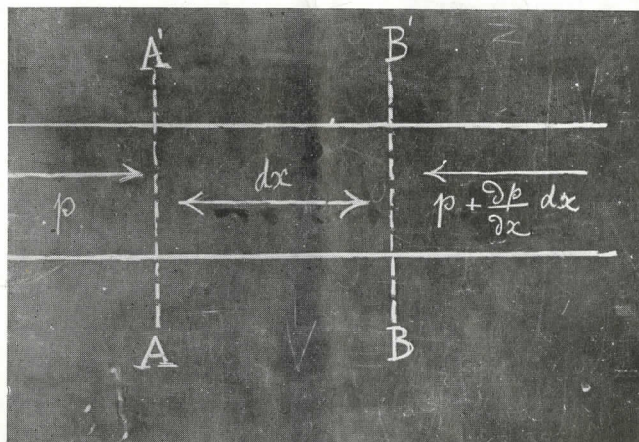



Fig. 25.

di BB' determinano su di esso la pressione $p + \frac{dp}{dx} dx$ da destra a sinistra

Se si chiama σ la sezione del filo, le *forze* meccaniche saranno dunque $p\sigma$ e $-(p + \frac{dp}{dx} dx)\sigma$, rispettivamente. La loro somma algebrica è

$$-\frac{dp}{dx} dx \,.\, \sigma .$$

Questa forza si esercita su l'*elemento;* la forza media su ciascun elettrone risulta così uguale a

$$-\frac{1}{N\sigma\, dx} \frac{dp}{dx} dx \,.\, \sigma = -\frac{1}{N} \frac{dp}{dx} ,$$

ove con N si indichi il numero degli elettroni liberi nell'unità di volume; N cambierà, a parità di condizioni, da metallo a metallo, e per un dato metallo sarà verisimilmente una funzione della temperatura.

Noi siamo adesso in grado di scrivere la condizione dell'equilibrio, e sarà

$$e\frac{dV}{dx}-\frac{1}{N}\frac{dp}{dx}=0. \tag{3}$$

Si badi che il vocabolo dell'*equilibrio* è inteso qui in un senso particolare, dinamico e statistico. Non si vuol dire cioè che quando la (3) è verificata gli elettroni stieno fermi, ma si ammette soltanto che essi si muovano in un modo « completamente disordinato », senza preferenza per una qualunque direzione.

La (3) assume una forma più evidente, se al posto di p si introduce la temperatura assoluta T. Secondo la equazione notissima di Krönig e Clausius è

$$p\,v=\frac{n\,m\,c^2}{3} \tag{4}$$

(p = pressione di un gas; v = volume; n = numero delle molecole, o, meglio, delle particelle isolate; m = massa di ciascuna particella; c = velocità media).

La (4) si può scrivere intanto, con le nostre notazioni,

$$p=\frac{N\,m\,c^2}{3}\ ;$$

e poi, riflettendo che la temperatura assoluta è proporzionale all'energia cinetica media,

$$p=\beta\,N\,T,$$

se con β si indica una costante universale.

La (3) diventa dunque

$$\frac{dV}{dx}=\frac{\beta}{Ne}\cdot\frac{d(NT)}{dx}, \tag{5}$$

alla quale forma si alludeva poco fa.

Di questa faremo, per mostrarne la fecondità, alcune applicazioni. Ma osserviamo subito che, se il filo metallico da noi considerato è omogeneo, e ha dovunque la stessa temperatura, avrà anche in ogni punto, secondo la nostra teoria, il medesimo potenziale. È un resultato che l'esperienza conferma.

5). Supponiamo adesso che *due* cilindri conduttori, di natura chimica differente, vengano posti in contatto per una base, e supponiamo che la temperatura sia costante in tutto il sistema.

Varierà però dall'uno all'altro metallo il numero N degli elettroni liberi nell'unità di volume; e dunque su le due faccie della superficie di separazione

si avrà uno squilibrio di pressione. Degli elettroni devono uscire dal mezzo dove N è più grande ed entrare nell'altro mezzo.

Ma appena il flusso è incominciato il primo metallo appare carico di elettricità positiva, e richiama le particelle di opposto segno che l'hanno abbandonato; si stabilirà così da ultimo una distribuzione di equilibrio che la (5) determina.

Questa assume la forma

$$\frac{dV}{dx} = \frac{\beta T}{e} \cdot \frac{\frac{dN}{dx}}{N} .$$

Moltiplichiamo per dx da una parte e dall'altra, e integriamo, andando

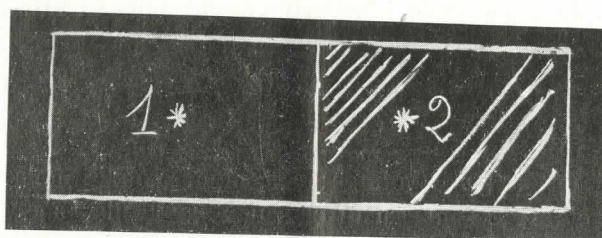



Fig. 26.

da un punto (1) posto nell'interno del primo metallo (fig. 26) ad un punto (2) interno al secondo; verrà

$$V_2 - V_1 = \frac{\beta T}{e} . \log \frac{N_2}{N_1} , \tag{6}$$

nella quale ultima gli indici hanno un significato ovvio.

La (6) annuncia l'*effetto Volta*, vale a dire la differenza di potenziale che deve nascere fra due conduttori a contatto.

Sarà

$$V_2 > V_1$$

se

$$N_2 > N_1$$

e cioè, come stabiliremo meglio in seguito, sono elettropositivi quei metalli che hanno una funzione chimica più attiva.

È facile vedere che, se il ragionamento e il calcolo precedente si estendono al caso di un cilindro costituito da più metalli accostati, la differenza di potenziale agli estremi apparirà indipendente dalla natura dei termini medii. Ed è un risultato notissimo del Volta.

6). La equazione (5) contiene anche la teoria dei fenomeni termoelettrici, i quali nascono dal supporre la T variabile con x. Poniamo, per trattare anzitutto un caso semplice, che il cilindro sia omogeneo e che la temperatura

abbia agli estremi (A e B) il valore T' e nel punto medio (M) il valore T''; dovremo scrivere

$$V_M - V_A = \frac{\beta}{e} \int_A^M \frac{1}{N} \cdot \frac{d(NT)}{dx} \cdot dx ,$$

$$V_B - V_M = \frac{\beta}{e} \int_M^B \frac{1}{N} \cdot \frac{d(NT)}{dx} \cdot dx ,$$

e sommando membro a membro

$$V_B - V_A = 0 ;$$

Se un filo metallico viene chiuso a circuito, e lo si scalda in un punto, non si produce dunque nessuna corrente.

7). Supponiamo invece che la temperatura abbia il valore T' da A fino ad M, che in M salti bruscamente al valore T'', per poi declinare con continuità fino a T' nell'estremo B.

Avremo

$$V_M - V_A = 0 ,$$

$$V_B - V_M = \frac{\beta}{e} \int_M^B \frac{1}{N} \cdot \frac{d(NT)}{dx} \cdot dx ,$$

e dunque

$$V_B - V_A = \frac{\beta}{e} \int_M^B \frac{1}{N} \cdot \frac{d(NT)}{dx} \cdot dx .$$

Se si apre un circuito metallico omogeneo, e si scalda uno dei capi divenuti liberi, e poi lo si accosta nuovamente all'altro, si produce una corrente istantanea, di breve durata (*fenomeno di Becquerel*).

8). Ed ora possiamo affrontare lo studio di una coppia termoelettrica. Consideriamo all'uopo un cilindro formato da cinque metalli accostati (fig. 27).

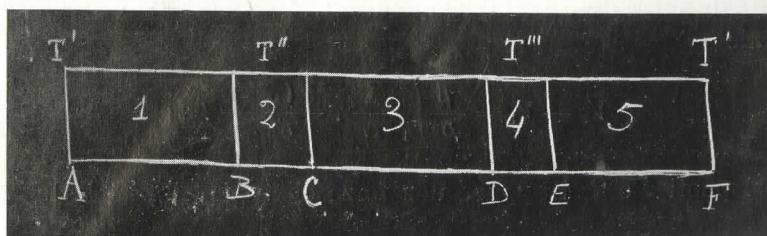



Fig. 27.

Nel primo metallo la temperatura varia da T' a T'', nel secondo (saldatura) ha il valore costante T'', nel terzo varia da T'' a T''', nel quarto (saldatura) ha il valore costante T''', e finalmente nel quinto varia da T''' a T'.

Le sbarrette *1* e *5* si suppongono di uguale natura, saranno, per fissare le idee, di antimonio; mentre la sbarra *3* sarà, poniamo, di bismuto.

Viene subito

$$V_F - V_A = \frac{\beta}{e} \int_A^F \frac{1}{N} \cdot \frac{d(NT)}{dx} \cdot dx ,$$

$$= \frac{\beta}{e} \int_A^F T \cdot \frac{d \log N}{dx} \cdot dx ,$$

$$= - \frac{\beta}{e} \int_A^F \log N \cdot \frac{dT}{dx} \cdot dx ,$$

$$= - \frac{\beta}{e} \left[\int_{T'}^{T''} \log N_1 \cdot dT + \int_{T''}^{T'''} \log N_3 \cdot dT + \int_{T'''}^{T'} \log N_5 \cdot dT \right] ;$$

gli integrali che si riferiscono ai metalli *2* e *4* essendo manifestamente uguali allo zero.

All'equazione si può dare una forma più semplice, quando si tenga conto dell'identità chimica dei tratti *1* e *5*; risulta infatti

$$V_F - V_A = - \frac{\beta}{e} \left[\int_{T'}^{T''} \log N_{Sb} \cdot dT + \int_{T''}^{T'''} \log N_{Bi} \cdot dT + \int_{T'''}^{T'} \log N_{Sb} \cdot dT , \right.$$

$$(7) \qquad = \frac{\beta}{e} \int_{T''}^{T'''} \log \frac{N_{Sb}}{N_{Bi}} \cdot dT .$$

La (7) determina la forza elettromotrice termoelettrica e prevede dunque il *fenomeno di Seebeck;* secondo la formola la f. e. m., dati i metalli, dipende soltanto dalle temperature delle due saldature.

9). Torniamo al caso di due fili a contatto (fig. 26) e senza più fare ipotesi restrittive sul valore della temperatura, scriviamo la (5) sotto la forma più generale

$$V_2 - V_1 = \frac{\beta}{e} \int_1^2 \frac{1}{N} \cdot \frac{d(NT)}{dx} \cdot dx .$$

Se nei punti *1* e *2* si applica una forza elettromotrice E, la legge di Ohm fornisce

$$(E + V_2 - V_1) = Ri ,$$

avendo R ed i dei significati ovvii. La stessa cosa si può scrivere anche

$$(8) \qquad Ei = Ri^2 - \frac{\beta i}{e} \int_1^2 \frac{1}{N} \cdot \frac{d(NT)}{dx} \cdot dx ;$$

e questa equazione assume un significato della massima importanza. A sinistra compare infatti la quantità di energia che dall'esterno vien fornita al sistema, a destra è il calore Joule e un altro termine di primo grado nell'intensità. Lo sviluppo del calore dipende dunque dal verso nel quale si manda la corrente entro il conduttore inomogeneo.

È evidente poi che l'integrale

$$\int_1^2 \frac{1}{N} \cdot \frac{d(NT)}{dx} \cdot dx$$

non muta di valore comunque siano presi i punti 1 e 2, purchè il primo sia un poco a sinistra e il secondo un poco a destra del confine. Fisicamente si dice la stessa cosa affermando che vi è comparsa o scomparsa di calore alla superficie di contatto fra i due metalli.

È questo il *fenomeno di Peltier*.

Lo si verifica facendo passare per qualche tempo una corrente in una pila termoelettrica e poi chiudendo la pila stessa in circuito con un galvanometro.

10). Per completare la teoria resta adesso a stabilirsi come siano legati gli elettroni dentro l'atomo ai nuclei positivi. Il problema non è determinato perchè la soluzione deve soddisfare a questa sola esigenza che i legami siano tali da dare origine ad oscillazioni periodiche, quali si riscontrano con sicurezza nei fenomeni luminosi.

Un modello accettabile fu proposto parecchi anni or sono da Lord Kelvin.

Ci figuriamo all'uopo che dell'elettricità positiva sia distribuita uniformemente in una sfera, e che dentro questa sfera si trovi perfettamente libera, una particella carica di elettricità negativa (l'elettrone).

La posizione di equilibrio dell'elettrone è manifestamente il centro della sfera positiva; ma, se per una ragione qualunque l'elettrone viene a spostarsi, è facile vedere che esso eseguirà appunto delle oscillazioni armoniche intorno a detto centro.

Trattandosi di forze che agiscono nella ragione inversa del quadrato della distanza, sono applicabili al problema i lemmi stabiliti da Newton per il caso della gravitazione. E cioè che una sfera omogenea agisce sopra un punto esterno come se la sua massa fosse raccolta nel centro, e che una crosta sferica omogenea non esercita alcuna azione sopra un punto interno.

Dai quali lemmi si ricava subito che nel caso nostro attuale la forza esercitata dalla sfera positiva sull'elettrone è proporzionale alla distanza che intercede fra l'elettrone stesso e il centro.

Se l'elettrone è spostato, a partire dalla sua posizione di equilibrio, del segmento r, la forza sarà data infatti da

$$-\frac{4/3 \cdot \pi r^3}{r^2} \cdot \frac{e e}{4/3 \cdot \pi R^3}$$

o, che fa lo stesso, da

$$-\frac{e e'}{R^3} \cdot r;$$

nelle quali formole si è indicato con e' la carica complessiva e con R il raggio della sfera positiva.

La forza risulta inoltre diretta a rovescio dello spostamento, e il moto dell'elettrone sarà dunque armonico.

11). Che il modello di Lord Kelvin sia accettabile si ricava dallo studio del fenomeno di Zeeman.

Supponiamo l'elettrone spostato a partire dalla sua posizione di equilibrio, e riferiamo il movimento a tre assi ortogonali. I moti delle proiezioni saranno armonici di uguale periodo; e quindi la proiezione del moto nel piano xy sarà un moto armonico ellittico. Ma un moto ellittico armonico si può sempre considerare come risultante dalla composizione di due moti circolari, inversi, dello stesso periodo e di raggi differenti.

Il moto primitivo è così decomposto in tre: due circolari (uniformi) nel piano xy ed uno armonico lungo l'asse delle z; i tre hanno il medesimo periodo.

Si produca adesso un campo magnetico secondo z: il terzo moto parziale non riesce alterato, ma sono alterati gli altri due. Nascono infatti per ciascuno di essi delle forze normali alla trajettoria, centripete in un caso e nell'altro centrifughe; sicchè il primo moto viene accelerato e il secondo ritardato.

Durante l'azione del campo magnetico i tre movimenti in cui fu decomposto il primitivo hanno dunque tre periodi diversi: uno identico all'iniziale, uno minore e l'ultimo maggiore.

Nel linguaggio dell'ottica: se l'atomo in quistione emetteva prima una certa riga spettrale, emette adesso una terna di righe, e la centrale della terna coincide con la primitiva.

In questo consiste il fenomeno di Zeeman.

Per osservarlo si può, ad esempio, fare scattare delle scintille fra elettrodi di magnesio, ed osservare lo spettro della luce emessa con un reticolo di diffrazione. Si vede allora nel verde una riga sottile e brillantissima, che da un campo magnetico intenso viene scissa in una terna.

L'interessante della cosa sta in ciò che dai dati dell'esperienza (campo magnetico, periodo della riga primitiva e delle due laterali) si può dedurre ancora una volta il rapporto e/m fra la carica e la massa della particella vibrante. Si ritrova il valore caratteristico dell'elettrone

$$e/m = 2.10^7.$$

Le particelle che oscillando emettono la luce sono dunque quelle stesse che si muovono nei raggî catodici, quelle stesse che la luce ultravioletta e l'alta temperatura estraggono dai metalli e che secondo ogni probabilità danno

luogo ai fenomeni di conduzione. Il fenomeno di Zeeman è legato del resto intimamente con un altro fatto ben noto, con la produzione delle correnti di Foucault; le equazioni caratteristiche sono le stesse nei due casi.

12). Il modello di Lord Kelvin, del quale abbiamo fatto uso fin qui, fu generalizzato da J. J. Thomson, che considerò dei sistemi composti di una sfera di elettricità positiva e di un certo numero di elettroni negativi; il Thomson suppose ancora che la sfera fosse animata da un movimento di rotazione intorno ad un suo diametro.

Da questo studio, che non si potrebbe esporre con rigore senza l'impiego di mezzi analitici elevati, si deducono alcune conseguenze estremamente interessanti.

Secondo il Thomson la sfera positiva è tale che la sua carica uguaglia la somma delle cariche degli elettroni in essa contenuti; ciò posto si domanda se il sistema sia stabile, stabile nel senso dinamico, se cioè gli elettroni spostati dalla loro posizione di equilibrio possano ritornarvi dopo di aver compiuto un certo numero di oscillazioni.

La risposta è questa: che certi sistemi sono stabili già allo stato neutro, mentre altri acquistano una maggiore stabilità perdendo od acquistando un certo numero di elettroni.

I sistemi della prima categoria sarebbero modelli per gli atomi dei gas nobili, quelli della seconda e della terza per gli atomi dei metalli e dei metalloidi rispettivamente.

Se un atomo è tale che la sua stabilità cresce con la perdita di qualche elettrone, nell'interno del corpo che lo contiene vi saranno sempre degli elettroni liberi; e però si capisce perchè i corpi che conducono l'elettricità vadano nell'elettrolisi al polo negativo.

Gli atomi dei metalloidi si approprieranno facilmente gli elettroni che passano loro vicini; e in questo risiede la ragione delle particolari figure presentate dall'elettricità positiva e dalla negativa nelle esperienze di Lichtenberg (Conf. II, paragrafo 2). La figura positiva è più grande, non perchè le particelle corrispondenti ad essa siano più mobili, ma perchè meno facilmente sono frenate e trattenute dall'ebanite, su la quale scorrono.

Il modello è anche più perfetto che non possa parere a prima vista.

Il Thomson ha studiato in modo particolare i sistemi che contengono

59 60 61 62 63 64 65 66 67

elettroni rispettivamente. Il primo e l'ultimo sono stabili allo stato neutro; il secondo, il terzo e il quarto hanno bisogno di perdere ordinatamente uno, due o tre elettroni per acquistare la massima stabilità; mentre il sesto, il settimo e l'ottavo ne devono invece guadagnare tre, due ed uno.

Finalmente il quinto termine diventa stabile, guadagnando o perdendo quattro cariche negative.

La serie corrisponde esattamente a questo gruppo del sistema di Mendelejeff

Ne Na Mg Al Si P S Cl Ar.

L'atomo di 61 elettroni rappresenterebbe un metallo bivalente, come il magnesio, l'atomo di 66 un metalloide monovalente, come il cloro, e così di seguito.

Spiegata la valenza è spiegata anche la natura dei composti chimici e la causa dell'affinità.

Così a poco a poco tutta la fisica e tutta la chimica si fanno dipendere da un unico schema.

BIBLIOTECA DELLE FACOLTA' DI LETTERE E FILOSOFIA TORINO